

文章编号: 1002-0268 (2007) 07-0095-04

十字环形交叉口绿灯间隔时间计算方法研究

马莹莹, 杨晓光, 曾 滢

(同济大学 交通工程系, 上海 200092)

摘要: 以十字环形交叉口内部各股车流的潜在冲突点和车辆启动形成的启动波为依据, 将环形交叉口左转二次控制的绿灯间隔时间转化为环道左转与本相直行之间的绿灯间隔时间、环道左转与下一相位绿灯启亮时差以及两直行相位绿灯间隔时间的组合, 提出各个绿灯启亮的时间差以及绿灯间隔时间的计算方法, 并将该方法应用于实例计算。论文的研究成果对提高十字环形交叉口左转二次控制效率和提高交叉口运行的安全性具有重要的意义和实用价值。

关键词: 交通工程; 绿灯间隔时间; 启动波; 环形交叉; 相位衔接

中图分类号: U491.54

文献标识码: A

Calculating Method of Intergreen Interval for Roundabout

MA Ying-ying, YANG Xiao-guang, ZENG Ying

(Department of Traffic Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The interval between phases of roundabout are transformed into three parts, which are intergreen intervals between left-turns in roundabout, the straights in the same phase, and the straights in the next phase. A calculation method for intergreen interval of roundabout is put forward based on the potential conflict point and starting wave in the intersection. It is applied in Lianban intersection in Xiamen. The result of the study is important to improve the efficiency and safety of roundabout.

Key words: traffic engineering; intergreen interval; starting wave; roundabout; link up to phases

0 前言

十字环形交叉口左转二次控制方法将环形交叉口的时间和空间资源有机的结合起来, 避免了各股交通流的交织, 使其都能够有秩序、协调的运行, 大大提高了环形交叉口的通行能力。该方法自提出以来受到国际国内的广泛关注, 并在国内部分城市成功应用, 均取得良好的效果^[1,2]。

由于左转的车辆需要在交叉口内的环岛上停车候行, 所以在对环形交叉口进行离线单点配时过程中, 绿灯间隔时间的确定就显得尤为重要。合理的绿灯间隔时间可以最大限度的利用交叉口内空间, 并能保障交通运行的安全性。本文从合理利用交叉口空间和交通安全的角度提出一种环形交叉口绿灯间隔时间的计算方法, 并通过厦门莲坂十字环形交叉口实例对该方法进行了验证。

1 左转二次控制思想简介

“十字环形交叉口左转两步控制法”是同济大学杨晓光教授在交通实践中所提出的关于大型环形交叉口的控制“新法”。该方法原则上采用两相位的交通信号控制方式, 相应的进口道及停车线, 以及信号灯设施布置如图1所示。首先进口道上设置第1停车线, 专用左转车道及专用左转信号灯; 另外, 在环道上各进口道左转交通流与对向进口道左传交通流冲突点前, 分别设置第2停车线, 并配以相应的专用信号灯。左转交通流将经过二次通行信号(进口道通行信号、环道通行信号)后通过交叉口^[3~5]。

2 相位相序设计

对于左转二次控制的十字环形交叉口, 原则上采用二相位信号控制, 例如东西向第1停车线左转与直

收稿日期: 2006-05-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50578123)

作者简介: 马莹莹(1983-), 女, 吉林省吉林市人, 博士研究生, 研究方向为交通信息工程及控制。(to. mayingying@sina.com)

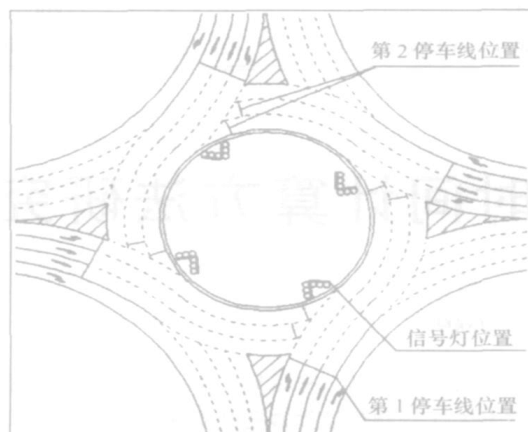


图1 信号控制环形交叉口交通设计图

Fig. 1 Design of signalized roundabout

行人在第1相位中放行，南北向第1停车线左转与直行车在第2相位中放行。两相位绿灯之间需要满足绿灯间隔时间的要求。对于各相位内部，可根据直行车与左转车的流量情况对左转车绿灯时间进行迟启早断的处理，以满足环道容量的约束，同时提高直行车的通行效率。具体相位之间的衔接以及相位内部的组合如图2所示^[3]。

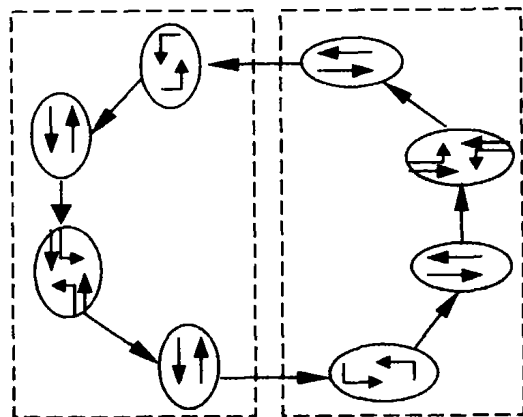


图2 十字环形交叉口相位相序图

Fig. 2 Signal phase sequence of roundabout

3 绿灯间隔时间确定

绿灯间隔时间是指一个相位绿灯结束到下一个相位绿灯开始的一段时间间隔。一般包括黄灯时间和全红时间^[6]。普通的交叉口的绿灯间隔时间只需要满足绿末或黄灯期间通过停车线进入交叉口的车辆，能在下一相位首车到达冲突点前安全通过冲突点。但在环形交叉口中，左转第2停车线处的车辆需利用绿灯间隔时间通行，所以环形交叉口的绿灯间隔时间应考虑第2停车线处左转车辆运行的影响。

3.1 环道左转停车空间的确定

环道内左转停车空间有两部分组成，一部分是和进口道左转车道相对应的环道，另一部分是本相两直行车流之间的直行环道，如图3中阴影部分所示。左转停车空间末端的确定取决于其与对向左转车流的冲突点，如图3中A点所示，停车空间的末端应该保证第2停车线的绿灯开启后，对向左转车流能够安全通过A点。

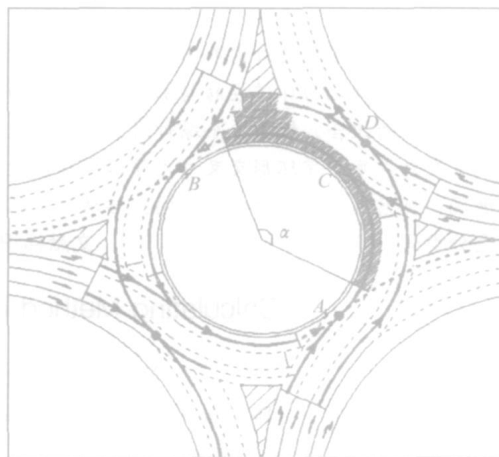


图3 相位衔接过程的潜在冲突点

Fig. 3 Conflict point in the process of linking up to phase

3.2 黄灯时间的确定

黄灯的含义是停止，但对于已经接近停车线无法安全停车的车辆允许通行。因此，黄灯时间的长度应保证这些无法正常停止的车辆能够顺利的通过停车线。

假设黄灯启亮时，车辆距停车线的距离为 L_s 。如果车辆能够在黄灯期间顺利的在停车线前停车待行，那么 L_s 应大于由下式确定的 L_{y1} ：

$$L_{y1} = v_0 \cdot t_r + \frac{v_0^2}{2a} \quad (1)$$

式中， t_r 为反应时间（ ≈ 1 s）； v_0 为绿灯期间车辆的行驶速度，m/s； a 为刹车的减速度， m/s^2 。

要想在变成红灯前越过停车线，那么此时 L_s 应小于以下公式中的 L_{y2} ：

$$L_{y2} = v_0 \cdot A \quad (2)$$

式中， A 为黄灯时间，s。

为了使驾驶员不产生迷惑，最佳的黄灯时间的选择应以不产生选择通行状态和进退两难状态为依据，即 L_{y1} 和 L_{y2} 相等时的时间值。则可推出最佳黄灯时间为^[7]

$$A_{\text{optimal}} = t_r + \frac{v_0}{2a} \quad (3)$$

3.3 环道相位与进口道相位之间的衔接

停候在第2停车线处的左转车辆利用两直行相位之间的绿灯间隔时间通过交叉口,因此必须避免左转的首车与本相直行的尾车的冲突。同时为了使下一相位的直行车辆的运行比较顺畅,并维持环道运行的秩序,下一相位的绿灯启亮时间应与上一相位第2停车线处的绿灯启亮有一定的时差,保证下一相位放行的首车辆能够不受阻滞的通过交叉口。

3.3.1 环道左转与本相直行之间的绿灯间隔时间

环道左转二次停车线处停候车流在本相进口道车流通行之后通行,该两股车流的潜在冲突点如图3中的B点,要使左转首车能够安全通过冲突点,环道左转与本相直行之间的绿灯间隔时间应该满足:

$$t_1 = \begin{cases} A + \frac{d_1 + L_c - d_2}{v_0} - \frac{v_0}{2a} - t_r & \text{当 } d_2 \geq \frac{v_0^2}{2a} \text{ 时,} \\ A + \frac{d_1 + L_c}{v_0} - \frac{2d_2}{a} - t_r & \text{当 } d_2 < \frac{v_0^2}{2a} \text{ 时,} \end{cases} \quad (4)$$

式中, t_1 为环道左转与本相直行的绿灯间隔时间; A 为黄灯时间; d_1 为本相进口道停车线到冲突点B的距离; d_2 为本相左转第2停车线到冲突点B的距离; L_c 为车辆长度与车辆安全距离之和; v_0 为交叉口的计算车速; a 为车辆启动加速度; t_r 为驾驶员启动反应时间。

3.3.2 环道左转与下一相位绿灯启亮时差

环道上的左转尾车需要在相邻进口道的车流到达二者的合流点前安全通过该点,如图3中的C点,这样既能充分利用交叉口内的时空资源,又可以使下一相位的车辆能够顺畅的通过交叉口。由于左转车辆在环道内待行,所以当环道左转信号灯启亮后左转车辆由静止启动,此时在环道内形成一个启动波向后传播。由于内侧环道允许排队的长度较长(如图3所示),所以在计算环道左转与下一相位绿灯启亮时差时应考虑启动波传播所需时间^[8,9]。则环道左转绿灯与下一相位进口道的绿灯启亮时差应满足:

$$t_2 = \begin{cases} \frac{L_{左}}{W_{起}} + \frac{d_3 + L_c - d_4}{v_0} - \frac{v_0}{2a} - t_r & \text{当 } d_4 \geq \frac{v_0^2}{2a} \text{ 时,} \\ \frac{L_{左}}{W_{起}} + \frac{d_3 + L_c}{v_0} - \sqrt{\frac{2d_4}{a}} - t_r & \text{当 } d_4 < \frac{v_0^2}{2a} \text{ 时,} \end{cases} \quad (5)$$

式中, $L_{左}$ 为环道内左转排队的最大长度,如图3中角 α 所对的弧长; $W_{起}$ 为环道内启动波的传播速度; d_3 为左转排队尾车到C点的距离; d_4 为下一相位进口停车线到C点的距离。

3.4 全红时间的确定

全红时间指本相位黄灯未至下一相位绿灯初的时间间隔。在信号控制十字环形交叉口中,为保证安全,需要在两个相位之间设置全红时间,以避免上一相位的尾车与下一相位的首车之间出现冲突。同时由于左转二次控制环形交叉口的特殊性,全红时间还应该满足停在第2停车线的车辆能够顺利驶出。

为了避免上一相位的直行尾车和下一相位的首车的冲突,全红时间应该满足:

$$t_3 \geq \begin{cases} \frac{d_5 + L_c - d_6}{v_0} - \frac{v_0}{2a} - t_r & \text{当 } d_6 \geq \frac{v_0^2}{2a} \text{ 时,} \\ \frac{d_5 + L_c}{v_0} - \sqrt{\frac{2d_6}{a}} - t_r & \text{当 } d_6 < \frac{v_0^2}{2a} \text{ 时,} \end{cases} \quad (6)$$

式中, d_5 为上一相位停车线到其与下一相位车流潜在冲突点的距离; d_6 为下一相位停车线到潜在冲突点的距离。

显然,整个交叉口的全红时间 A_R 应为:

$$A_R = \max\{t_1 + t_2 - A, t_3\}. \quad (7)$$

3.5 绿灯间隔时间的确定

绿灯间隔时间为相位间黄灯时间与全红时间之和^[10],即

$$I = A + A_R, \quad (8)$$

式中, I 为绿灯间隔时间; A 为黄灯时间; A_R 为全红时间。

结合最佳黄灯时间与最佳全红时间的理论计算结果,按实际条件进行修正,可以得到绿灯间隔时间的推荐值。需要注意的是,由于城市中公交车的比例较高,且大型公交车在通过十字环形交叉口时车速比小型车慢。在公交车较多的十字环形交叉口,为防止出现由于尾车是公交车而导致的绿灯间隔时间不足等现象,在计算全红时间时,应取用较小的交叉口设计车速,以提高交叉口的可靠度。另外本文的计算方法适用于流量较大的交叉口,不考虑红灯期间各进口停车线前没有排队的情况。

4 实例

本文以厦门市莲坂十字环形交叉口为例,运用本文提出的绿灯间隔时间计算方法计算绿灯间隔时间,并用 Webster 法进行信号配时。该环岛半径为 30 m,几何布局如图4所示。根据该交叉口的基本情况可以计算:

黄灯时间 $A = 3 \text{ s}$;

全红时间 $A_R = 11 \text{ s}$;

绿灯间隔时间 $I = 14 \text{ s}$;

根据该交叉口的流量特征可以计算得：周期长度
 $C = 125 \text{ s}$ 。



图 4 厦门市莲坂环形交叉口

Fig. 4 Lianban roundabout in Xiamen

根据环形交叉口通行能力计算方法^[2]可以计算出各直行及左转车道的通行能力，如表 1 所示。

表 1 莲坂十字环形交叉口信号控制通行能力计算表

Tab. 1 Calculating table of Lianban signalized roundabout

进口	流向	车道数	通行能力 /(pcu h ⁻¹)	进口	流向	车道数	通行能力 /(pcu h ⁻¹)
东	左	2	1 209	南	左	1	525
	直	3	2 285		直	4	2 296
	小计		3 494		小计		2 821
西	左	2	1 209	北	左	2	1 050
	直	3	2 285		直	3	1 722
	小计		3 494		小计		2 772
合计				12 581			

一般的，无信号控制的环形交叉口的能够适应 1 000~2 700 pcu/h 的交通量，最大不超过 3 500 pcu/h^[3]，而应用本文的环形交叉口的控制方法大大提高了环形交叉口的通行能力，如表 1 所示。

5 结论

本文简单介绍了环形交叉口左转二次控制策略，

并提出一种绿灯间隔时间的计算方法。该计算方法在考虑了各个潜在冲突点的基础上，详细的考虑了各股车流的衔接。在考虑车流的衔接时，本文注重了停在环道内待左转的车辆运行特性，将波动理论引入到绿灯间隔时间的计算中，使两相位的十字环形交叉口的绿灯间隔时间计算更加准确，成为高效、安全的信号配时基础。

参考文献：

- [1] 杨晓光, 杨锦东, 边经卫. 大型环形交叉口交通改善设计与控制方法研究 [C]. 中国城市交通规划协会成立 20 周年纪念论文集. 1999.
- [2] YANG Xiao-guang, et al. The Traffic Control and Management System For Large Roundabout [C]. Proceedings of 8th World Congress on Intelligent Transportation System (CD-ROM), ITS Australia. Sydney: 2001.
- [3] 薛昆. 十字环型交叉口信号控制理论研究 [D]. 上海: 同济大学, 2003.
- [4] 杨锦东, 杨晓光, 彭国雄. 环形交叉口交通控制模式研究 [J]. 公路交通科技, 2000, 17 (3): 47 - 51.
- [5] 薛昆, 杨晓光, 白玉. 给定周期条件下环形交叉口优化控制方法研究 [J]. 公路交通科技, 2004, 21 (5): 83 - 87.
- [6] 全永乘. 城市交通控制 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1989.
- [7] 王茜. 城市交通信号控制系统特征参数研究 [D]. 上海: 同济大学, 2003.
- [8] 周商吾. 交通工程 [M]. 上海: 同济大学出版社, 1987.
- [9] [日] 饭田恭敬. 交通工程学 [M]. 邵春福, 译. 北京: 人民交通出版社, 1994.
- [10] 杨佩昆, 吴兵. 交通管理与控制 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.